

КОРЕКТУВАННЯ ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИСОКОВОЛЬТНИХ ПОДІЛЬНИКІВ НАПРУГИ

Бржезицький В.О., д.т.н., проф., Троценко Є.О., асистент, Петренко О.В., студент

НТУУ "КПІ", кафедра техніки та електрофізики високих напруг

Введення в дію в Україні та СНД ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» висуває високі вимоги до точності вимірювань гармонічних складових напруги, імпульсних перенапруг в реальних високовольтних електричних мережах, в яких застосування відомих електричних приладів визначення якості електроенергії передбачає їх підключення через відповідні трансформатори та подільники напруги [1]. Дослідження [2] показують, що звичайні високовольтні трансформатори напруги спотворюють її вищі гармонічні складові та зовсім непридатні для трансформації імпульсних напруг.

Для повноцінного масштабного перетворення напруги високовольтних електричних мереж до рівня входних напруг приладів визначення якості електроенергії подільники напруги повинні мати особливі властивості по стабільності масштабного перетворення напруги в широкому діапазоні частот [2]. Такими є, наприклад, зображені на рис. 1 подільники напруги з резистивно-ємнісними елементами [3].

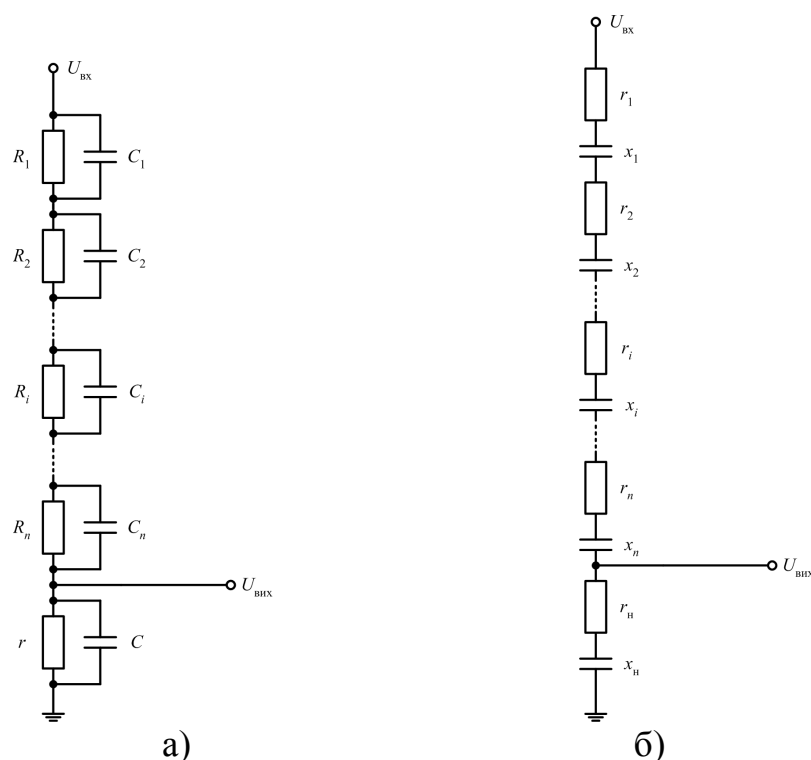


Рисунок 1 – Схеми заміщення високовольтних подільників напруги
а) послідовно-паралельне з'єднання; б) послідовне з'єднання

Постановка питання про частотні характеристики таких подільників напруги [4] показала важливість впливу на них так званої неідентичності R , C – параметрів високовольтного плеча.

В літературі з дослідження високовольтних подільників напруги [5] значення опорів та ємностей кола провідних елементів, як правило, приймаються ідентичними, або такими, що змінюються за заданим законом. Насправді, здійснення і того, й іншого на практиці може бути забезпечено з визначеним рівнем точності щодо підбору елементів. Крім того, навіть у випадку «ідеального» підбору елементів значення їх опорів та ємностей можуть змінитися під дією зовнішніх умов чи у часі. У зв'язку з цим виникає необхідність розгляду характеристик високовольтного плеча подільника з урахуванням, у загальному випадку, неідентичності його складових. Такий підхід до подільників напруги є необхідним не тільки для коректного визначення їх параметрів, але і дозволяє знайти особливості частотних характеристик кіл резистивно-ємнісних елементів, у тому числі кіл елементів високовольтної ізоляції.

У роботі [6] виконано дослідження впливу неідентичності елементів високовольтного плеча подільника напруги з послідовно-паралельним з'єднанням елементів на його частотні характеристики. Одержано вирази для амплітудно-частотної (A) та фазо-частотної (φ) характеристик високовольтного подільника напруги:

$$A = k^{-1} \cdot A^*,$$

$$A^* = \left[\frac{1 + \omega^2 R_0^2 C_0^2}{(1 + (k-1)f/k)^2 + \omega^2 R_0^2 C_0^2 (1 + (k-1)\delta/k)^2} \right]^{0.5}, \quad (1)$$

$$\varphi = \arctan \left[\frac{(\delta - f)\omega R_0 C_0}{(f + k/(k-1)) + \omega^2 R_0^2 C_0^2 (\delta + k/(k-1))} \right],$$

де k – номінальне значення масштабного коефіцієнту високовольтного подільника напруги; інші позначення – за [6].

Дані вирази з урахуванням f , δ [6] визначають залежність «нормованої» амплітудно-частотної характеристики $A^*(\omega)$ та фазово-частотної характеристики $\varphi(\omega)$ в загальному випадку неідентичності елементів високовольтного плеча.

Вважаючи розподілення параметрів α_i ємностей високовольтного плеча нормальним [6], перейдемо до визначення усереднених значень f , δ за допомогою інтегральних виразів

$$f = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\gamma^2}{1 + \gamma^2} \cdot \int_{-\theta\sigma}^{\theta\sigma} \frac{\alpha^2 [\gamma^2(3 + 2\alpha) - 1]}{1 + \gamma^2(1 + \alpha)^2} \cdot e^{\left(\frac{-\alpha^2}{2\sigma^2}\right)} d\alpha, \quad (2)$$

$$\delta = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\gamma^2}{1 + \gamma^2} \cdot \int_{-\theta\sigma}^{\theta\sigma} \frac{\alpha^2 [\gamma^2(1 + \alpha) - (3 + \alpha)]}{1 + \gamma^2(1 + \alpha)^2} \cdot e^{\left(\frac{-\alpha^2}{2\sigma^2}\right)} d\alpha, \quad (3)$$

де σ – значення середнього квадратичного відхилення (СКВ) розподілення; θ – параметр, що визначає межі області інтегрування за α (надалі приймаємо $\theta = 5$; $\gamma = \omega R_0 C_0$).

Досліджування залежності $A^*(\omega)$ в [6] показує, що діапазон змін $A^*(\omega)$ є занадто великим. Одним із шляхів зниження нестабільності амплітудно-частотної характеристики високовольтних подільників напруги є коректування його низьковольтного плеча. Для цього пропонується зменшити значення ємності низьковольтного плеча високовольтного подільника напруги в $(1 + (k-1)\delta'/k)$ раз, де δ' – значення δ (3) при $\gamma \gg 1$.

В цьому випадку вирази A^* і φ , як можна показати, приймуть вид:

$$A_k^* = \sqrt{\frac{1 + \gamma^2(1 + \delta')^2}{\left(1 + f \frac{k-1}{k}\right)^2 + \gamma^2 \left(1 + \delta \frac{k-1}{k} + \frac{\delta'}{k}\right)^2}}, \quad (4)$$

$$\varphi_k = \arctan \left[\gamma \frac{\delta - f - \delta'(1 + f)}{(f + k/(k-1)) + \gamma^2(1 + \delta')(\delta + k/(k-1) + \delta'/(k-1))} \right]. \quad (5)$$

Для значення $\delta' = 0$ вирази (4), (5) перетворюються до формул (1).

Попередньо проведені розрахунки показують, що у випадку запропонованого коректування схеми високовольтного подільника напруги нестабільність його амплітудно-частотної характеристики A_k^* суттєво знижується порівняно з A^* , що буде в подальшому детально досліджуватись.

Перелік посилань:

1. Бржезицький В.А., Иерусалимов М.Е., Проценко А.Р. О частотной зависимости характеристик емкостно-омического делителя напряжения // Техническая электродинамика. – 1987. – № 1. – С. 3 – 7.
2. Болотин И.Б., Эйдель Л.З. Измерения при испытании аппаратов в режимах короткого замыкания. – Л.: Энергоатомиздат. – 1988. – 200 с.
3. Нейман Л.Р., Демирчан К.С. Теоретические основы электротехники: в 2-х томах. – Л.: Энергоатомиздат. – 1981. – 536 с.
4. Бржезицький В.А., Стогній Б.С. Методичні вказівки до вивчення дисципліни «Вимірювання високих напруг та великих струмів» для студентів спеціальності 7.090604 «Техніка та електрофізика високих напруг». – К.: КПІ. – 1994. – 32 с.
5. ГОСТ 13109 – 97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».
6. В.О. Бржезицький, О.Р. Проценко, В.М. Кікало. Частотні характеристики високовольтних подільників напруги // Технічна електродинаміка. – 2007. – № 5. – С. 66 – 70.